

نموذج

مشروع خطة أطروحة للتسجيل لدرجة الدكتوراه

العنوان باللغة العربية:

تأثير استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية: دراسة
تطبيقية في مدينة الرياض

ب. العنوان باللغة الإنجليزية:

**The Impact of Artificial Intelligence Tools on the Efficiency of
Healthcare Facility Maintenance Management: An Applied Study in
Riyadh**

اسم الباحث : فيصل محمد البازعي

الرقم الأكاديمي: ٢٠٢١٢٠٣٨٢٠

الكلية: الإدارة

١٤٤٦ هـ - ٢٠٢٥ م

مقدمة الدراسة

تعتبر إدارة الصيانة في المباني الطبية أحد الركائز الأساسية لضمان استمرارية الخدمات الصحية وجودتها، حيث تعتمد هذه المباني على أنظمة معقدة ومتكاملة تشمل الآلات، وأنظمة التكييف، والكهرباء، والأمن والسلامة والصيانة التصحيحية، هذه الأنظمة تتطلب صيانة دورية وفعالة لضمان عملها دون انقطاع، خاصة في ظل التحديات المتزايدة مثل ارتفاع تكاليف الصيانة، وصعوبة التنبؤ بالأعطال، وطول وقت الاستجابة، وفي هذا السياق أصبحت الحاجة ملحة لتبني تقنيات حديثة تعزز كفاءة إدارة الصيانة، وتقلل من التكاليف، وتحسن من جودة الخدمات المقدمة، ومن بين التقنيات الحديثة التي برزت كحل واعد لتحسين إدارة الصيانة هو الذكاء الاصطناعي (AI)، الذي يتميز بقدرته على تحليل البيانات الضخمة، والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، واتخاذ قرارات ذكية تعتمد على البيانات، كما تشير الدراسات العلمية إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة يمكن أن يحقق فوائد كبيرة، حيث أظهرت دراسة. (Zhang et al., 2020)

إن هذه التقنيات يمكن أن تقلل من وقت التوقف عن العمل بنسبة تصل إلى ٤٠٪، بينما أشارت دراسة إلى أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في البيئات الطبية يمكن أن يخفض تكاليف الصيانة بنسبة تصل إلى ٣٠٪. ومع ذلك، فإن تطبيق هذه التقنيات في إدارة صيانة المباني الطبية لا يزال محدودًا في العديد من الدول، بما في ذلك المملكة العربية السعودية، مما يبرز الحاجة إلى دراسات أكثر عمقًا لاستكشاف إمكانات هذه التقنيات. (KL, 2024) في ضوء هذه الفجوة البحثية، وتحديات إدارة الصيانة في المباني الطبية في السعودية، تأتي هذه الدراسة لاستكشاف تأثير استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة في هذا النوع من المباني. تم اختيار مدينة الرياض كحالة دراسية نظرًا لاحتوائها على عدد كبير من المستشفيات وشركات الصيانة التي يمكن أن توفر بيانات غنية ومتنوعة. تهدف الدراسة إلى الإجابة على سؤال رئيسي كيف يمكن لأدوات الذكاء الاصطناعي أن تعزز كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية؟ (Hossam, 2023)

تأتي أهمية هذه الدراسة كونها تساهم في سد الفجوة البحثية في تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة المباني الطبية، خاصة في البيئة السعودية. كما توفر نتائجها رؤى قيمة للمسؤولين في القطاع الصحي وشركات الصيانة، مما يمكنهم من اتخاذ قرارات مستنيرة تعزز من كفاءة العمليات وجودة الخدمات المقدمة.

مشكلة الدراسة وأسئلتها

تعد المباني الطبية، مثل المستشفيات والمراكز الصحية، من أكثر البيئات تعقيدًا من حيث الأنظمة والتجهيزات التي تتطلب صيانة مستمرة وفعالة، وتشمل هذه الأنظمة الأجهزة الطبية المتطورة، وأنظمة التكييف والتهوية، والأنظمة الكهربائية، وأنظمة الأمن والسلامة. تعتمد جودة الخدمات الصحية بشكل كبير على كفاءة إدارة الصيانة في هذه المباني، حيث يمكن أن يؤدي أي خلل في هذه الأنظمة إلى تعطيل الخدمات الصحية، وزيادة

التكاليف، وحتى تعريض حياة المرضى للخطر. ومع تزايد تعقيد هذه الأنظمة، أصبحت الحاجة ملحة لتبني تقنيات حديثة يمكنها تحسين كفاءة إدارة الصيانة وتقليل التكاليف.

في هذا السياق، تبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي كأحد الحلول المبتكرة التي يمكن أن تسهم في تحسين إدارة الصيانة. تتميز هذه التقنيات بقدرتها على تحليل كميات هائلة من البيانات، والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، واتخاذ قرارات ذكية تعتمد على البيانات. على سبيل المثال، يمكن أن تساعد أنظمة الذكاء الاصطناعي في تحديد الأنظمة التي تحتاج إلى صيانة قبل أن تتعطل، مما يقلل من وقت التوقف عن العمل ويحسن من كفاءة العمليات.

تقوم هذه الدراسة على أساس نظري يتمثل في نظريات إدارة الصيانة الحديثة، والتي تؤكد على أهمية استخدام التقنيات المتقدمة لتحسين كفاءة العمليات. تشمل هذه النظريات مفاهيم مثل الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)، والصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)، والتي تعتمد على تحليل البيانات والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها. بالإضافة إلى ذلك، تعتمد الدراسة على نظريات الذكاء الاصطناعي، خاصة تلك المتعلقة بتحليل البيانات الضخمة، والتعلم الآلي، والتنبؤ بالأعطال. تشير الأدبيات السابقة إلى أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يحقق فوائد كبيرة في إدارة الصيانة، مثل تقليل التكاليف، وتحسين وقت الاستجابة، وزيادة عمر الأصول.

تشير الدراسات الاستطلاعية السابقة إلى أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة لا يزال في مراحله الأولى في العديد من القطاعات، بما في ذلك القطاع الصحي. على سبيل المثال، أظهرت دراسة استطلاعية أجراها Smith et al. (2019) أن 60٪ من مديري الصيانة في المستشفيات الأمريكية يرون أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يحسن كفاءة الصيانة، ولكن فقط 20٪ منهم يستخدمون هذه التقنيات حالياً. كما أشارت دراسة استطلاعية أخرى أجراها Johnson et al. (2020) إلى أن التحديات الرئيسية التي تواجه تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة تشمل نقص الخبرة الفنية، وارتفاع التكاليف الأولية، ومقاومة التغيير من قبل العاملين.

في السياق السعودي، أن تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة في المباني الطبية لا يزال محدوداً، حيث يعتمد معظم المستشفيات على أساليب الصيانة التقليدية. إن مديري الصيانة في المستشفيات السعودية يرون أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يحسن كفاءة الصيانة، ولكن فقط منهم يستخدمون هذه التقنيات حالياً قليلون جداً بسبب أن التحديات الرئيسية تشمل نقص البيانات، وعدم توفر البنية التحتية التكنولوجية، ونقص الكفاءات البشرية.

على الرغم من التطورات الكبيرة في مجال الذكاء الاصطناعي، فإن تطبيق هذه التقنيات في إدارة صيانة المباني الطبية لا يزال محدوداً، خاصة في المملكة العربية السعودية. هذا التحدي يطرح تساؤلات حول مدى فعالية أدوات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة إدارة الصيانة في هذا النوع من المباني، وما هي العوامل التي يمكن أن تعزز أو تعيق هذا التطبيق. لذلك، تسعى هذه الدراسة إلى استكشاف تأثير استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي

على كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية، مع التركيز على عينة من المستشفيات وشركات الصيانة في مدينة الرياض.

تأتي أهمية هذه الدراسة من كونها تساهم في سد الفجوة البحثية في تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة المباني الطبية، خاصة في البيئة السعودية. كما توفر نتائجها رؤى قيمة للمسؤولين في القطاع الصحي وشركات الصيانة، مما يمكنهم من اتخاذ قرارات مستنيرة تعزز من كفاءة العمليات وجودة الخدمات المقدمة.

أسئلة الدراسة

١. ما هي أدوات الذكاء الاصطناعي التي يمكن أن تؤثر على كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية؟
٢. ما هي مؤشرات كفاءة إدارة الصيانة التي يمكن قياسها لتقييم تأثير أدوات الذكاء الاصطناعي؟
٣. ما هي العوامل الوسيطة التي قد تعزز أو تعيق تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي؟
٤. ما هي التحديات الرئيسية التي تواجه تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة المباني الطبية؟
٥. كيف يمكن قياس فعالية أدوات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة إدارة الصيانة؟

أهمية الدراسة (النظرية والتطبيقية):

١. الأهمية النظرية: تساهم هذه الدراسة في تعزيز الفهم النظري لدور الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة إدارة الصيانة، خاصة في المباني الطبية. على الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت تطبيقات الذكاء الاصطناعي في القطاعات الصناعية والتجارية، إلا أن الأدبيات العلمية لا تزال محدودة فيما يتعلق بتطبيق هذه التقنيات في المباني الطبية، وخاصة في البيئة السعودية. لذلك، تسد هذه الدراسة فجوة بحثية مهمة من خلال استكشاف تأثير أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة في هذا النوع من المباني. (West et al., 2024)

بالإضافة إلى ذلك، تساهم الدراسة في تعزيز النظريات المتعلقة بإدارة الصيانة الحديثة، مثل الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) والصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)، من خلال تقديم أدلة تجريبية على فعالية الذكاء الاصطناعي في تحسين هذه العمليات. كما تساهم في توسيع نطاق نظريات الذكاء الاصطناعي من خلال تطبيقها في مجال إدارة الصيانة في المباني الطبية، مما يفتح آفاقاً جديدة للبحث في هذا المجال. (إلبورومبالي، ٢٠٢٣)

٢. الأهمية التطبيقية:

على المستوى التطبيقي، توفر هذه الدراسة رؤى قيمة للمسؤولين في القطاع الصحي وشركات الصيانة، مما يمكنهم من اتخاذ قرارات مستنيرة تعزز من كفاءة العمليات وجودة الخدمات المقدمة. على سبيل

المثال، يمكن أن تساعد نتائج الدراسة في تحديد العوامل التي تعزز تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة، مثل توفر البيانات، والبنية التحتية التكنولوجية، والكفاءات البشرية. كما يمكن أن توفر رؤى حول التحديات التي قد تواجه تطبيق هذه التقنيات، مثل نقص الخبرة الفنية، وارتفاع التكاليف الأولية، ومقاومة التغيير من قبل العاملين. (James, 2025)

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تسهم نتائج الدراسة في تحسين كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية من خلال تقليل التكاليف، وتحسين وقت الاستجابة، وزيادة عمر الأصول. هذا يمكن أن يؤدي إلى تحسين جودة الخدمات الصحية المقدمة، وتقليل وقت التوقف عن العمل، وزيادة رضا المرضى والعاملين في القطاع الصحي.

أهداف الدراسة:

الهدف العام:

دراسة تأثير استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية في مدينة الرياض.

الأهداف الفرعية:

١. تحديد أدوات الذكاء الاصطناعي التي تؤثر على كفاءة إدارة الصيانة.
٢. قياس مؤشرات كفاءة إدارة الصيانة.
٣. تحليل العوامل التي تعزز أو تعيق تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي.
٤. تحديد التحديات التي تواجه تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.
٥. تقديم توصيات عملية لتعزيز تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة المباني الطبية.

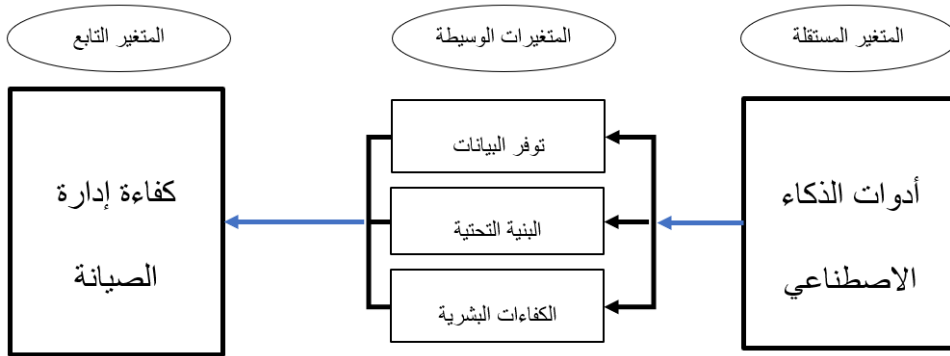
فرضيات الدراسة:

١. هناك تأثير إيجابي ذو دلالة إحصائية لاستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية.
٢. توجد علاقة إيجابية بين توفر البيانات وتأثير أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة.
٣. توجد علاقة إيجابية بين البنية التحتية التكنولوجية وتأثير أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة.
٤. توجد علاقة إيجابية بين الكفاءات البشرية وتأثير أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة.

٥. توجد فروق ذات دلالة إحصائية في كفاءة إدارة الصيانة بين المباني الطبية التي تستخدم أدوات الذكاء الاصطناعي وتلك التي لا تستخدمها.

نموذج الدراسة

يوضح الشكل (١) نموذج الدراسة الذي يعرض كلا من المتغير المستقل وهو أدوات الذكاء الاصطناعي، والمتغيرات الوسيطة وهي توفر البيانات والبنية التحتية والكفاءات البشرية، والمتغير التابع وهو كفاءة إدارة الصيانة.



شكل (١): نموذج الدراسة

الدراسات المرجعية:

قامت هاجر فاتق خضير (٢٠١٠) بدراسة بعنوان "تقييم إدارة صيانة أبنية مستشفيات محافظة بابل"، لتقييم النظام الحالي لإدارة صيانة أبنية المستشفيات في محافظة بابل. هدفت الدراسة إلى تحديد نقاط الضعف في النظام من خلال تحليل الوظائف الإدارية الأساسية مثل التخطيط والتنظيم والتوجيه والرقابة. أظهرت النتائج وجود ضعف في وظيفتي التخطيط والتنظيم، حيث تم التركيز على الصيانة العلاجية بدلاً من الصيانة الدورية. كما تم تحديد نقاط ضعف أخرى، مثل نقص الكادر الهندسي ورأس كوادرات طبية غير متخصصة لأعمال الصيانة. أوصت الدراسة بزيادة ميزانية الصيانة، وتحديث نظام تبويب الميزانية، ووضع نظام حوافز لجذب الكادر الفني والهندسي.

قام حسام الدين البرمبلي (٢٠١٦) بدراسة بعنوان "تفعيل دور الصيانة المتكاملة لدور الرعاية الصحية (المستشفيات) في البلدان العربية"، لتحليل المشاكل التي تواجه صيانة المستشفيات في البلدان العربية. هدفت

الدراسة إلى وضع خطط صيانة فعالة تضمن استمرارية الخدمة مع الحفاظ على صحة المباني والأجهزة الطبية. أظهرت النتائج أن الصيانة المتكاملة تتطلب توافق العناصر الأساسية مع قياس كفاءة الأداء، وأن الصيانة الوقائية والدورية هي الأكثر فعالية في تقليل التكاليف على المدى الطويل، وأوصت الدراسة بضرورة تطوير نموذج كمي لإدارة الصيانة وزيادة الميزانيات المخصصة للصيانة.

قام الباحثان ميرزاد شاهين مقدم وعلي مطمئدي (٢٠١٩) بدراسة بعنوان "مراجعة نشر تقنيات إنترنت الأشياء المعتمدة على نمذجة معلومات البناء: الوضع الحالي، الفرص، والتحديات"، لمراجعة اتجاهات البحث في دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) مع نمذجة معلومات البناء (BIM). هدفت الدراسة إلى تسليط الضوء على الفرص المتاحة والتحديات التي تواجه تنفيذ أنظمة BIM المدعومة بتقنيات IoT، وأظهرت النتائج أن التقنيات المستخدمة تشمل RFID و Bluetooth Low Energy (BLE)، وأن الفرص المستقبلية تشمل إنشاء "التوائم الرقمية" (Digital Twins). كما تم تحديد تحديات مثل الأمان والخصوصية والحاجة إلى معايير بيانات أكثر تطوراً.

قام الباحثون فالنتينا فيلا وبراردو ناتيشا وآخرون (٢٠٢١) بدراسة بعنوان "هيكل مفتوح المصدر لإنترنت الأشياء لصيانة مرافق المباني"، لتطوير إطار عمل رقمي يعتمد على تكامل تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) ونمذجة معلومات البناء (BIM) لتحسين إدارة صيانة المرافق في المباني، وأظهرت النتائج أن النظام قادر على اكتشاف الأعطال وإرسال تنبيهات إلى مديري المرافق، مما يحسن عمليات الصيانة الوقائية ويقلل من التكاليف. أوصت الدراسة باستخدام أدوات مفتوحة المصدر لتحسين كفاءة الطاقة.

وقام الباحثون تان تان وزينغ فانغ وآخرون (٢٠٢١) بدراسة بعنوان "إدارة المرافق المعتمدة على نموذج معلومات المباني الصحية (HBIM): إطار مفاهيمي"، لاقتراح إطار مفاهيمي لإدارة المرافق يعتمد على نموذج معلومات المباني الصحية (HBIM). هدفت الدراسة إلى تحسين كفاءة وسلامة تشغيل المباني في ظل جائحة COVID-19، وأظهرت النتائج أن دمج بيانات IoT مع BIM يمكن أن يوفر بيئة عمل أكثر صحة، وأوصت الدراسة باستخدام مؤشرات الصحة المعمارية (AHIs) واتخاذ القرارات متعددة المعايير (MCDM).

وقدم الباحثان مينا سادات أورووحي ومحمد مهدي لطيفي (٢٠٢١) دراسة بعنوان "مراجعة لتضمين الذكاء الاصطناعي في إنترنت الأشياء ونمذجة معلومات البناء لإدارة صيانة المرافق الصحية"، لاكتشاف كيفية

دمج الذكاء الاصطناعي (AI) مع IoT و BIM لتحسين إدارة صيانة المرافق الصحية ، وأظهرت النتائج أن تكامل IoT و BIM يمكن أن يحسن إدارة الصيانة من خلال توفير بيانات في الوقت الفعلي. أوصت الدراسة بتطوير أنظمة ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات الضخمة.

ونفذ الباحثون كريم سليمان وخالد ناجي وآخرون (٢٠٢٢) دراسة بعنوان "نماذج إدارة المرافق المعتمدة على نمذجة معلومات البناء للمباني القائمة"، لتطوير إطار عمل لإنشاء نماذج BIM للمباني القائمة باستخدام تقنيات المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد والطائرات بدون طيار، وأظهرت النتائج أن دمج نماذج BIM مع أنظمة إدارة المرافق (BMS) يحسن كفاءة إدارة المرافق. أوصت الدراسة باستخدام تقنيات المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد لتحسين دقة نماذج BIM.

وقام الباحثون بريا تالوار وهيملا بانث وآخرون (٢٠٢٣) بدراسة بعنوان "الصيانة التنبؤية في إنترنت الأشياء الصحية: نهج قائم على التعلم الآلي"، لاستكشاف تطبيق تقنيات التعلم الآلي في الصيانة التنبؤية لأجهزة إنترنت الأشياء في القطاع الصحي وأظهرت النتائج أن النماذج التنبؤية يمكن أن تحسن كفاءة الصيانة. أوصت الدراسة بتحديث النماذج باستمرار لضمان دقتها وفعاليتها.

وقام الباحثون أحمد إيهاب ومزكور أ. مهدي وأرفا الحلوتي (٢٠٢٤) بدراسة بعنوان "نظام صيانة BIM مع تكامل إنترنت الأشياء: تعزيز أداء المباني وإدارة المرافق"، لإقتراح نظام صيانة يعتمد على تكامل BIM و IoT، وأظهرت النتائج أن التكامل يمكن أن يحسن ممارسات الصيانة ويزيد كفاءة الطاقة، وأوصت الدراسة بمعالجة تحديات تكامل البيانات والأمان.

وعمل الباحثون سيرجي أغاوسيل مورينو ومائياس لوبي وآخرون (٢٠٢٤) دراسة بعنوان "الجولات الافتراضية كأداة فعالة مكمل لنماذج معلومات البناء في إدارة المرافق بمساعدة الكمبيوتر باستخدام إنترنت الأشياء"، لاستكشاف إمكانية استخدام الجولات الافتراضية (VTs) كأداة مكمل لنماذج BIM وأظهرت النتائج أن الجولات الافتراضية يمكن أن تحسن كفاءة إدارة المرافق من خلال واجهة بديهية للوصول إلى البيانات في الوقت الفعلي وأوصت الدراسة باستخدام الجولات الافتراضية كأداة فعالة لإدارة المرافق على المدى الطويل.

قام وست وآخرون (2024) بدراسة بعنوان "تحسين صيانة المعدات: التحول من استراتيجيات الصيانة التصحيحية إلى الوقائية"، بهدف تحليل فعالية استراتيجيات الصيانة التصحيحية (CM) والوقائية (PM) في المباني التجارية في سيدني، أستراليا، وركزت الدراسة على تقييم تأثير كل استراتيجية على تكاليف التوقف عن العمل، وموثوقية المعدات، وتكرار الأعطال، مع التركيز على كيفية تحسين القرارات المتعلقة بالصيانة باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات، وأظهرت النتائج أن الصيانة الوقائية (PM) قللت من تكرار الأعطال بنسبة كبيرة مقارنة بالصيانة التصحيحية (CM)، مما أدى إلى تحسين موثوقية المعدات وتقليل التكاليف طويلة المدى. ومع ذلك، لاحظ الباحثون أن تكاليف التنفيذ الأولية للصيانة الوقائية كانت أعلى بسبب الطبيعة الاستباقية لهذه الاستراتيجية. كما أشارت الدراسة إلى أن استخدام تحليل البيانات عبر لغة البرمجة Python ومنصة Google Colab ساعد في تحسين دقة التنبؤ بالأعطال وتخصيص الموارد بشكل أكثر كفاءة، وأوصت الدراسة بضرورة اتباع نهج متكامل يجمع بين الصيانة الوقائية والتصحيحية، مع التأكيد على أهمية استخدام التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) لتعزيز فعالية الصيانة. كما أبرزت الحاجة إلى مزيد من البحث حول تأثير العوامل الاقتصادية والتكنولوجية على اختيار استراتيجيات الصيانة.

قام فيرمي وآخرون (2024) بدراسة بعنوان "الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في إدارة الأصول"، حيث استكشف الباحثون كيف يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي تحويل استراتيجيات الصيانة التقليدية إلى أنظمة تنبؤية فعالة، وركزت الدراسة على تحليل البيانات الضخمة من أجهزة الاستشعار وأجهزة المراقبة لاكتشاف الأنماط والشذوذ في أداء المعدات، مما يتيح التنبؤ الدقيق بالأعطال قبل حدوثها، وأظهرت النتائج أن الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي قللت من فترات التوقف غير المخطط لها بنسبة تصل إلى 40%، كما ساهمت في تحسين كفاءة العمليات وإطالة عمر الأصول. بالإضافة إلى ذلك، أدى استخدام هذه التقنيات إلى تحسين تخصيص الموارد وتقليل النفقات التشغيلية، حيث تم تنفيذ الصيانة فقط عند الحاجة الفعلية، بدلاً من اتباع جداول زمنية ثابتة، وأوصت الدراسة بضرورة دمج إنترنت الأشياء (IoT) مع أنظمة الذكاء الاصطناعي لتعزيز قدرات الصيانة التنبؤية، مع التأكيد على أهمية تحليل البيانات في الوقت

الفعلي لتحسين دقة التنبؤات. كما أشار الباحثون إلى التحديات المرتبطة بتنفيذ هذه التقنيات، مثل الحاجة إلى بنية تحتية قوية للبيانات وتدريب الكوادر البشرية.

وقام أنتوني أوين (2025) بدراسة بعنوان "دمج الصيانة التنبؤية وتدقيق حالة المباني: نهج قائم على البيانات لتعزيز طول عمر الأصول وتقليل الغموض التشغيلي في المباني التجارية"، بهدف استكشاف كيفية تحسين إدارة الأصول من خلال دمج تقنيات الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) مع عمليات تدقيق حالة المباني (BCA). ركزت الدراسة على تحليل محدوديات الصيانة التقليدية (التصحيحية والوقائية) وتقييم دور التقنيات الحديثة في تحسين كفاءة الصيانة، وكانت نتائج الدراسة أن استخدام الصيانة التنبؤية قلل تكاليف الصيانة بنسبة 30-50%، وخفض معدلات الأعطال المفاجئة بنسبة 40%، كما عزز عمر الأوجودات وكفاءة الطاقة. من ناحية أخرى، كشفت الدراسة عن تحديات مثل التكلفة العالية للتطبيق، وصعوبة دمج الأنظمة القديمة، والحاجة إلى تدريب الكوادر، وأوصى الباحث بتبني إطار عمل متكامل يجمع بين الصيانة التنبؤية والتدقيق الرقمي، مع التركيز على تبني النماذج الافتراضية (Digital Twins) وتحسين البنية التحتية للبيانات.

مصطلحات الدراسة وتعريفاتها الإجرائية

١. الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence - AI):

- التعريف الإجرائي:

يشير الذكاء الاصطناعي في هذا البحث إلى التقنيات والحلول البرمجية التي تعتمد على خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning) وتحليل البيانات الضخمة (Big Data) لتحسين عمليات الصيانة في المباني الطبية ويتضمن ذلك أنظمة التنبؤ بالأعطال، وأنظمة التحكم الذكية، وأنظمة تحليل البيانات لاتخاذ قرارات صيانة أكثر كفاءة.

٢. أدوات الذكاء الاصطناعي (AI Tools):

- التعريف الإجرائي:

هي البرامج والتطبيقات التي تعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي، مثل أنظمة إدارة الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance Systems)، وأنظمة تحليل البيانات في الوقت الفعلي (Real-Time Data)

(Analytics)، وأنظمة التحكم الذكية (Smart Control Systems). تُستخدم هذه الأدوات لتحسين كفاءة إدارة الصيانة في المباني الطبية.

٣. إدارة الصيانة (Maintenance Management):

- التعريف الإجرائي:

تشير إدارة الصيانة في هذا البحث إلى العمليات والأنظمة المستخدمة لتخطيط، تنظيم، توجيه، ومراقبة أعمال الصيانة في المباني الطبية. يتضمن ذلك الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)، والصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)، والصيانة العلاجية (Corrective Maintenance).

٤. كفاءة إدارة الصيانة (Maintenance Management Efficiency):

- التعريف الإجرائي:

تشير كفاءة إدارة الصيانة إلى مدى فعالية وكفاءة العمليات الإدارية المتعلقة بالصيانة في تحقيق الأهداف المحددة، مثل تقليل التكاليف، تحسين وقت الاستجابة، زيادة عمر الأصول، وتقليل وقت التوقف عن العمل. يتم قياس الكفاءة من خلال مؤشرات مثل تكاليف الصيانة، وقت الإصلاح، ومعدل الأعطال.

٥. المباني الطبية (Healthcare Buildings):

- التعريف الإجرائي:

تشير المباني الطبية في هذا البحث إلى المستشفيات والعيادات والمراكز الصحية التي توفر خدمات طبية وعلاجية، وتشمل هذه المباني أنظمة معقدة مثل أنظمة التكييف والتهوية (HVAC)، الأنظمة الكهربائية، وأنظمة الأمن والسلامة.

٦. مدينة الرياض (Riyadh City):

- التعريف الإجرائي:

تشير مدينة الرياض في هذا البحث إلى العاصمة السعودية، حيث يتم تطبيق الدراسة على عينة من المستشفيات وشركات الصيانة العاملة فيها. يتم اختيار المدينة كحالة دراسية بسبب التطور السريع في البنية التحتية الطبية وزيادة الاعتماد على التقنيات الحديثة في إدارة الصيانة.

٧. الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance):

- التعريف الإجرائي:

هي استراتيجية صيانة تعتمد على تحليل البيانات التي يتم جمعها من أجهزة الاستشعار (Sensors) وأنظمة المراقبة للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها. يتم استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل هذه البيانات وتحديد الوقت الأمثل للصيانة.

٨. البيانات الضخمة (Big Data):

- التعريف الإجرائي:

تشير البيانات الضخمة في هذا البحث إلى الكميات الهائلة من البيانات التي يتم جمعها من أجهزة الاستشعار والأنظمة الإلكترونية في المباني الطبية. يتم تحليل هذه البيانات باستخدام أدوات الذكاء الاصطناعي لتحسين عمليات الصيانة

٩. أجهزة الاستشعار (Sensors):

- التعريف الإجرائي:

هي أجهزة إلكترونية تقوم بجمع البيانات من البيئة المحيطة، مثل درجة الحرارة، الرطوبة، الضغط، وغيرها. تُستخدم هذه الأجهزة في المباني الطبية لمراقبة حالة الأنظمة المختلفة وتوفير بيانات في الوقت الفعلي.

١٠. الوقت الفعلي (Real-Time):

- التعريف الإجرائي:

يشير إلى القدرة على جمع البيانات ومعالجتها وعرضها بشكل فوري أو شبه فوري. في هذا البحث، يتم استخدام البيانات في الوقت الفعلي لتحسين عمليات الصيانة واتخاذ القرارات بشكل سريع.

إجراءات الدراسة:

منهج الدراسة:

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الكمي الوصفي التحليلي الذي يجمع بين الوصف الدقيق للواقع القائم والتحليل الإحصائي للعلاقات بين المتغيرات، ويتمثل الجانب الوصفي في رصد وتوثيق واقع استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة المباني الطبية بمدينة الرياض، بما في ذلك تحديد أنواع الأدوات المستخدمة ومدى انتشارها ومؤشرات كفاءة الصيانة المرتبطة بها، أما الجانب التحليلي فيركز على اختبار العلاقات السببية والتأثيرات المتبادلة بين المتغير الرئيسي (أدوات الذكاء الاصطناعي) والمتغير التابع (كفاءة إدارة الصيانة) مع الأخذ في الاعتبار دور المتغيرات الوسيطة (جودة البيانات، البنية التحتية، الكفاءات البشرية). يعتمد هذا المنهج على

جمع البيانات الكمية من خلال استبيان يتم تحليله باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة لضمان الموضوعية والدقة في النتائج.

مجتمع وعينة الدراسة:

- **مجتمع الدراسة:**

يشمل مجتمع الدراسة جميع المستشفيات والعيادات الكبرى في مدينة الرياض التي تعتمد على أنظمة الصيانة الحديثة، بالإضافة إلى شركات الصيانة المتخصصة التي تقدم خدمات الصيانة لهذه المباني الطبية.

- **خصائص المجتمع:**

- المستشفيات الحكومية والخاصة في الرياض.
- شركات الصيانة المتعاقدة مع هذه المستشفيات.
- المهندسين ومديري الصيانة العاملين في هذه المؤسسات.

- **عينة الدراسة:**

يتم اختيار عينة ممثلة من مجتمع الدراسة، تشمل عددًا من المستشفيات وشركات الصيانة في مدينة الرياض.

حجم العينة:

- المستشفيات سيتم اختيار اختيار ١٠ مستشفيات كبرى في الرياض (٥ حكومية و٥ خاصة).
- شركات الصيانة: يتم اختيار ٥ شركات صيانة متعاقدة مع هذه المستشفيات.
- الأفراد: يتم توزيع استبيانات على ٨٠ فردًا من المهندسين ومديري الصيانة في هذه المؤسسات.

معايير اختيار العينة:

- أن تكون المستشفيات من بين الأكبر في الرياض وتستخدم أنظمة صيانة متطورة.
- أن تكون شركات الصيانة متخصصة في صيانة المباني الطبية.
- أن يكون الأفراد من ذوي الخبرة في مجال الصيانة واستخدام التقنيات الحديثة.

حساب حجم العينة:

١. تحديد حجم المجتمع (N):

- لنفترض أن حجم المجتمع (عدد المهندسين ومديري الصيانة في المستشفيات والشركات في الرياض) هو ٢٠٠ فرد.

٢. تحديد مستوى الثقة:

- نختار مستوى ثقة ٩٠٪ ($Z = 1.645$).

٣. تحديد هامش الخطأ:

- نختار هامش خطأ ٧٪ ($e = 0.07$).

٤. تحديد النسبة المتوقعة (p):

- نستخدم $p = 0.5$ للحصول على أكبر حجم عينة ممكن.

٥. تطبيق صيغة حجم العينة للمجتمعات الصغيرة:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

$$n = \frac{200 \cdot (1.645)^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}{(0.07)^2 \cdot (200 - 1) + (1.645)^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}$$

$$n = \frac{200 \cdot 2.706 \cdot 0.25}{0.0049 \cdot 199 + 2.706 \cdot 0.25}$$

$$n = \frac{135.3}{0.9751 + 0.6765} = \frac{135.3}{1.6516} \approx 82$$

بالتالي، حجم العينة المطلوب هو ٨٢ فردًا.

توزيع العينة:

١. المستشفيات:

- ١٠ مستشفيات (٥ حكومية و٥ خاصة).
- ٤ أفراد من كل مستشفى (مهندسين ومديري صيانة).
- إجمالي الأفراد من المستشفيات: $40 = 4 \times 10$ فردًا.

٢. شركات الصيانة:

- ٥ شركات صيانة.
- ٤ أفراد من كل شركة (مهندسين ومديري صيانة).
- إجمالي الأفراد من شركات الصيانة: $40 = 8 \times 5$ فردًا.

٣. إجمالي الأفراد:

- ٤٠ فردًا من المستشفيات + ٤٠ فردًا من شركات الصيانة = ٨٠ فردًا.

حدود الدراسة: (المكانية ، الزمانية ، البشرية)

- الحدود المكانية:

تقتصر هذه الدراسة على المستشفيات الحكومية والخاصة وشركات الصيانة الموجودة في مدينة الرياض فقط. ولا تشمل المستشفيات أو المنشآت الطبية أو شركات الصيانة في المدن أو المناطق الأخرى في المملكة العربية السعودية.

- الحدود الزمانية:

تم جمع البيانات خلال الفترة الزمنية من مارس ٢٠٢٥ إلى ديسمبر ٢٠٢٦. كما تقتصر الدراسة على تحليل البيانات المتعلقة بإدارة الصيانة خلال هذه الفترة، ولا تشمل بيانات من فترات زمنية سابقة أو لاحقة.

- الحدود البشرية:

تشمل الدراسة المستشفيات الحكومية والخاصة وشركات الصيانة في مدينة الرياض، مع التركيز على الإدارات المسؤولة عن إدارة الصيانة في هذه المستشفيات وشركات الصيانة ولا تشمل العيادات الخارجية أو المراكز الصحية الصغيرة أو غيرها من المنشآت الطبية غير المستشفيات.

وسائل جمع بيانات الدراسة:

١. الاستبيانات (Questionnaires)

- سيتم تصميم استبيانات موجهة إلى مديري الصيانة والمهندسين في المستشفيات وشركات الصيانة في مدينة الرياض، بهدف جمع بيانات كمية حول تأثير استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة.

٢. البيانات الثانوية (Secondary Data)

- سجلات الصيانة الرقمية
- تقارير أداء أنظمة الذكاء الاصطناعي
- إحصائيات الأعطال والإصلاحات

٣. الملاحظة الميدانية - اختيارية (Field Observation)

- زيارة بعض المستشفيات لمشاهدة التطبيق العملي
- مراجعة لوحات التحكم لأنظمة الذكاء الاصطناعي

المعالجات الإحصائية المقترحة:

التحليل الإحصائي:

سيتم باستخدام برنامجي SPSS و SmartPLS للتحليل.

١. التحليل الوصفي:

- التكرارات والنسب المئوية
- المتوسطات والانحراف المعياري

٢. التحليل الاستدلالي:

اختبار الفرضيات باستخدام:

- الانحدار المتعدد (الفرضية ١).
- تحليل المسار (الفرضيات ٢-٤).
- اختبار T-Test (الفرضية ٥).

خطوات تنفيذ خطة الدراسة:

١. التخطيط المبدئي للدراسة:

- تحديد أهداف الدراسة بوضع الأهداف الرئيسية للدراسة، مثل قياس تأثير أدوات الذكاء الاصطناعي على كفاءة إدارة الصيانة.
- تحديد الفروض البحثية من خلال صياغة الفروض التي سيتم اختبارها خلال الدراسة.
- تصميم منهجية البحث باختيار المنهجية المناسبة (وصفي تحليلي، تطبيقي، استطلاعي).

٢. إعداد الأدوات البحثية:

- تصميم الاستبيانات بإعداد استبيانات لجمع البيانات الكمية من مديري الصيانة والمهندسين في المستشفيات وشركات الصيانة.
- إعداد أدوات الملاحظة الميدانية وتحديد معايير الملاحظة الميدانية لفهم كيفية تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في الصيانة.

٣. جمع البيانات:

- توزيع الاستبيانات على عينة الدراسة (المهندسين ومديري الصيانة في المستشفيات وشركات الصيانة).
- زيارة بعض المستشفيات وشركات الصيانة لمراقبة تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي.
- تحليل الوثائق والسجلات وجمع البيانات التاريخية والحالية من سجلات الصيانة وتقارير الأداء.

٤. تحليل البيانات:

- التحليل الوصفي ووصف البيانات الأساسية باستخدام المتوسطات، الوسيط، الانحراف المعياري، والرسوم البيانية.
- التحليل الاستدلالي باستخدام اختبارات إحصائية مثل اختبار تي، تحليل التباين (ANOVA)، وتحليل الانحدار لفحص العلاقات بين المتغيرات.

٥. اختبار الفروض البحثية:

- اختبار الفروض باستخدام الأدوات الإحصائية لاختبار الفروض المطروحة في الدراسة، مثل تأثير استخدام الذكاء الاصطناعي على كفاءة الصيانة.

- تحليل النتائج من خلال تفسير النتائج الإحصائية وربطها بالفروض البحثية.

٦. تفسير النتائج:

- تحليل النتائج الكمية والنوعية وتفسير البيانات التي تم جمعها من الاستبيانات والمقابلات والملاحظات الميدانية.

- مقارنة النتائج مع الأدبيات السابقة ومقارنة نتائج الدراسة مع الدراسات السابقة لتحديد أوجه التشابه والاختلاف.

٧. صياغة التوصيات:

- بناءً على النتائج، تقديم توصيات لتعزيز تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة.

- تحديد العوامل التي تعزز التطبيق مثل توفر البيانات، البنية التحتية التكنولوجية، والكفاءات البشرية.

- تحديد التحديات مثل نقص الخبرة الفنية، ارتفاع التكاليف الأولية، ومقاومة التغيير.

٨. إعداد التقرير النهائي:

- إعداد التقرير النهائي للدراسة يتضمن المقدمة، الأهداف، المنهجية، النتائج، التوصيات.

- توثيق جميع المصادر والمراجع التي تم الاعتماد عليها في الدراسة وفقاً لنظام APA.

٩. عرض النتائج:

- عرض النتائج في المؤتمرات أو الندوات: مشاركة النتائج مع المجتمع الأكاديمي والمهني.

- نشر الدراسة في مجلات علمية محكمة لتعميم الفائدة.

١٠. التقييم والمراجعة:

- تقييم الدراسة مراجعة الدراسة من قبل خبراء في المجال للحصول على تعليقات وتحسينات.

- التعديلات النهائية إجراء التعديلات اللازمة بناءً على التقييمات.

المراجع:

المراجع العربية

١. الدهش، هاجر. (٢٠١٠). تقييم إدارة صيانة أبنية مستشفيات محافظة بابل. تم الاسترداد من <https://www.researchgate.net/publication/123456789>
٢. إلورومبالي، حسام (٢٠٢٣). "الصيانة الإنتاجية الشاملة.

المراجع الأجنبية

1. Aguacil Moreno, S., Loup, M., Lebre, M., Deschamps, L., Bacher, J.-P., & Duque Mahecha, S. (2024). Virtual tours as effective complement to building information models in computer-aided facility management using Internet of Things.
2. Ehab, A., Mahdi, M. A., & El-Helloty, A. (2024). BIM maintenance system with IoT integration: Enhancing building performance and facility management. Civil Engineering Journal, 10(6). <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-06-015>
3. Ganesan, V., Pant, H., (2023). Predictive maintenance in healthcare IoT: A machine learning-based approach. European Chemical Bulletin, 12(SI4), Article 1420. <https://doi.org/10.48047/ecb/2023.12.si4.1420>
4. James, Alexandra. (2025). The Role of Predictive Maintenance in Enhancing Maritime Fleet Reliability.
5. K L, Meera. (2024). AI-Driven Predictive Maintenance in Asset Management. 10.4018/979-8-3373-1032-9.ch025.
6. Orooje, M. S., & Latifi, M. M. (2021). A Review of Embedding Artificial Intelligence in Internet of Things and Building Information Modelling for Healthcare Facility Maintenance Management. Energy and Environment Research, 11 (2), 31-40. <https://doi.org/10.5539/eer.v11n2p31>.
7. Owen, A. (2025). *Integrating Predictive Maintenance and Building Condition Auditing: A Data-Driven Approach to Enhancing Asset Longevity and Reducing Operational Ambiguity in Commercial Buildings*. IU International University of Applied Sciences.
8. Shahinmoghdam, M., & Motamedi, A. (2019). Review of BIM-centered IoT deployment: State of the Art, Opportunities, and Challenges. Conference Paper. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0170>

9. Soliman, K., Naji, K., Gunduz, M., Tokdemir, O. B., Faqih, F., & Zayed, T. (2022). BIM-based facility management models for existing buildings. *Journal of Engineering Research*, 10(1A), 21–37. <https://doi.org/10.36909/jer.11433>
10. Tan, T., Fang, Z., Yang, Y. (2021). Health Building Information Modeling (HBIM)-based Facility Management: A Conceptual Framework. Conference Paper.
11. Villa, V., Naticchia, B., Bruno, G., Aliev, K., Piantanida, P., & Antonelli, D. (2021). IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities. *Applied Sciences*, 11(12), 5374. <https://doi.org/10.3390/app11125374>
12. West, Jye & Evangelista, Ana & Siddhpura, Milind & Haddad, Assed. (2024). Asset maintenance in Australian commercial buildings. *Frontiers in Built Environment*. 10. 10.3389/fbuil.2024.1404934.
13. West, Jye & Siddhpura, Milind & Evangelista, Ana & Haddad, Assed. (2024). Building Condition Auditing (BCA)—Improving Auditability—Reducing Ambiguity. *Buildings*. 14. 3645. 10.3390/buildings14113645.
14. West, Jye & Siddhpura, Milind & Evangelista, Ana & Haddad, Assed. (2024). Improving Equipment Maintenance—Switching from Corrective to Preventative Maintenance Strategies. *Buildings*. 14. 3581. 10.3390/buildings14113581.